

IHP GmbH - Innovations for High Performance Microelectronics / Institut für innovative Mikroelektronik  
Im Technologiepark 25, 15204 Frankfurt (Oder)

---

Halbleiterkondensator und damit aufgebauter MOSFET

---

- Die Erfindung betrifft einen Halbleiterkondensator mit einem zwischen einer ersten Kondensatorelektrode und einer zweiten Kondensatorelektrode angeordneten Kondensatordielektrikum, das Praseodymoxid umfasst, sowie einen mit einem solchen Halbleiterkondensator aufgebauten MOSFET.
- 5 Weiterhin betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung einer Praseodymsilizidschicht auf einer Praseodymoxidschicht.

- Halbleiterkondensatoren sind aus der modernen Halbleitertechnologie nicht mehr wegzudenken. Wichtige Anwendungsbeispiele für Halbleiterkondensatoren sind dynamische Direktzugriffsspeicher (DRAM), in denen die
- 10 Halbleiterkondensatoren als Speicherzellen Verwendung finden, und Metall-Oxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFETs, metal-oxide semiconductor field-effect transistor), in denen das Substrat, die Gateelektrode und das zwischen Substrat und Gateelektrode liegende Gateoxid einen Halbleiterkondensator bilden.

Für einen Halbleiterkondensator gilt wie für alle Kondensatoren, dass die Kapazität des Kondensators proportional zur Dielektrizitätszahl des zwischen den Kondensatorelektroden befindlichen Dielektrikums und der Fläche der Kondensatorelektroden sowie zum Reziprokenwert des Abstandes zwischen den Kondensatorelektroden, also der Dicke des Dielektrikums, ist. Als Dielektrikum wird in der Halbleitertechnik häufig Siliziumoxid ( $\text{SiO}_2$ ) eingesetzt.

Mit der zunehmenden Verringerung der Bausteingröße in der Halbleitertechnik werden auch die Abmessungen der Kondensatorplatten von Halbleiterkondensatoren, beispielsweise der Gateelektroden von MOSFETs, immer kleiner. Damit verringert sich aber auch die Kapazität des Halbleiterkondensators, sofern keine Maßnahmen ergriffen werden, dem entgegenzuwirken.

Zum Kompensieren der Verringerung der Abmessungen der Kondensatorelektroden gibt es zwei Möglichkeiten. Die erste besteht darin, die Dicke des Dielektrikums zu verringern. Dies führt beispielsweise in MOSFETs, in denen als Dielektrikum typischerweise Siliziumoxid Verwendung findet, bei Gatelängen von weniger als  $0,1 \mu\text{m}$  zu Problemen. Das Siliziumoxid für Bauelemente mit derart geringen Gatelängen müsste dann dünner als  $1,5 \text{ nm}$  sein. Ein solch dünnes Siliziumoxid führt jedoch zu einer Zunahme des Leckstroms des MOSFETs. Der Leckstrom entsteht aufgrund von Elektronen, die durch das dünne Gateoxid zwischen dem Substrat und der Gateelektrode tunneln. Die Zahl der tunnelnden Elektronen und damit die Stromstärke des Leckstroms wächst exponentiell mit geringer werdender Dicke der Siliziumoxidschicht. Es ist jedoch erwünscht, den Leckstrom eines MOSFETs möglichst gering zu halten, da zum Steuern des Stromes zwischen der Drainelektrode und der Sourceelektrode möglichst wenig elektrische Leistung verbraucht werden soll.

Eine weitere Möglichkeit, die Verringerung der Abmessungen der Kondensatorelektroden zu kompensieren besteht darin, die Dielektrizitätszahl des Dielektrikums zu ändern. Wird statt Siliziumoxid Praseodymoxid ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) als Dielektrikum verwendet, so lässt sich aufgrund der gegenüber Siliziumoxid

höheren Dielektrizitätszahl des Praseodymoxids die Kapazität des Kondensators bei ansonsten gleichen Parametern deutlich erhöhen. Siliziumoxid besitzt eine Dielektrizitätszahl von 3,9, wohingegen Praseodymoxid eine Dielektrizitätszahl von 30 besitzt. Dies bedeutet, dass mit Praseodymoxid  
5 als Dielektrikum das Gateoxid um den Faktor 30 dividiert durch 3,9 dicker sein kann als ein Dielektrikum aus Siliziumoxid. Mit Praseodymoxid als Gatedielektrikum lässt sich daher der Leckstrom gegenüber Siliziumoxid als Dielektrikum drastisch verringern.

An das Praseodymoxid umfassende Kondensatordielektrikum schließt sich  
10 eine Kondensatorelektrode an, die üblicherweise Silizium umfasst. Diese wird wiederum über eine Metallsilizidschicht elektrisch kontaktiert. Zwischen dem Kondensatordielektrikum und der Kondensatorelektrode befindet sich darüber hinaus noch eine Zwischenschicht zum Unterdrücken chemischer Reaktionen zwischen dem Material des Kondensatordielektrikums und dem der Kondensatorelektrode.  
15

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Halbleiterkondensator mit Praseodymoxid als Kondensatordielektrikum sowie einen mit einem solchen Halbleiterkondensator aufgebauten MOSFET zu schaffen, der einen gegenüber dem Stand der Technik einfacheren Aufbau aufweist.

20 Diese Aufgabe wird durch einen Halbleiterkondensator nach Anspruch 1, einen MOSFET nach Anspruch 7 und ein Verfahren zur Herstellung einer Praseodymsilizidschicht auf einer Praseodymoxidschicht nach Anspruch 8 gelöst. Die abhängigen Ansprüche enthalten weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des Halbleiterkondensators.

25 Erfindungsgemäß umfasst der Halbleiterkondensator eine erste Kondensatorelektrode, eine zweite Kondensatorelektrode sowie ein zwischen den beiden Kondensatorelektroden angeordnetes Kondensatordielektrikum, das Praseodymoxid umfasst. Er zeichnet sich dadurch aus, dass die zweite Kondensatorelektrode Praseodymsilizid umfasst.

30 Die zweite Kondensatorelektrode enthält erfindungsgemäß zumindest im Grenzbereich zum Kondensatordielektrikum Praseodymsilizid. Der Vorteil

dieser Lösung besteht darin, dass sowohl das Material des Kondensator-  
dielektrikums als auch das Material der zweiten Kondensatorelektrode Pra-  
seodym enthält, also eine gewisse chemische Verwandtschaft zwischen  
den beiden Materialien besteht. Aufgrund dieser Verwandtschaft ist die  
5 Zwischenschicht zwischen dem Kondensatordielektrikum und der Kondensatorelektrode entbehrlich.

In einer weiteren Ausgestaltung besteht die gesamte zweite Kondensator-  
elektrode des erfindungsgemäßen Halbleiterkondensators vollständig aus  
Praseodymsilizid. In dieser Ausgestaltung ist keine zusätzliche Kontaktsili-  
zidschicht nötig, da das Praseodymsilizid selbst als Kontaktsilizid fungiert.  
10 Daher ermöglicht diese Ausgestaltung einen besonders einfachen Aufbau  
des Halbleiterkondensators.

In einer Ausgestaltung des Halbleiterkondensators, die insbesondere seine  
Verwendung in MOSFETs ermöglicht, umfasst die erste Kondensator-  
15 elektrode Silizium. Als erste Kondensatorelektrode kann in diesem Fall das  
Halbleitersubstrat eines MOSFETs Verwendung finden. Die erste Kondensatorelektrode kann außerdem eine Siliziumgermaniumlegierung umfassen, um die Verwendung des Halbleiterkondensators in MOSFETs mit einem eine Siliziumgermanium umfassenden Substrat zu ermöglichen.

20 Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein MOSFET zur Verfügung gestellt, der ein Halbleitersubstrat, ein Gatedielektrikum, eine Gateelektrode und einen erfindungsgemäßen Halbleiterkondensator umfasst. Dabei wird die erste Kondensatorelektrode vom Halbleitersubstrat, die zweite Kondensatorelektrode von der Gateelektrode und das Kondensator-  
25 dielektrikum vom Gatedielektrikum gebildet.

Gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung wird Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterkondensators, der ein Praseodymoxid-haltiges Dielektrikum aufweist zur Verfügung gestellt. Das erfindungsgemäße Verfahren weist einen Schritt des Erzeugens einer Praseodymsilizidschicht auf der Praseodymoxid-haltigen Schicht auf.  
30

In einer ersten Ausführungsform des Verfahrens wird die Praseodymsilizidschicht aus der Gasphase abgeschieden.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird die Praseodymsilizidschicht mittels lokalem Energieeintrag in oberflächennahe Bereiche der Praseodymoxid-haltigen Schicht durch thermische Umwandlung von Praseodymoxid hergestellt. Dabei erfolgt der lokale Energieeintrag vorzugsweise mit Hilfe eines Lasers.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Herstellung einer Praseodymsilizidschicht auf einer Praseodymoxid-haltigen Schicht zur Verfügung gestellt. Erfindungsgemäß entsteht die Praseodymsilizidschicht mittels lokalem Energieeintrag in oberflächennahe Bereiche der Bereiche der Praseodymoxid-haltigen Schicht durch thermische Umwandlung von Praseodymoxid. Vorzugsweise besteht die Praseodymoxid-haltige Schicht zumindest in ihren oberflächennahen Bereichen aus Praseodymoxid. Das Verfahren hat den Vorteil, dass ein eigener Abscheideschritt für die Herstellung der Praseodymsilizidschicht entfällt. Das Verfahren wird vorzugsweise in Verbindung mit der Herstellung eines Halbleiterkondensators nach Anspruch 1 oder eines MOSFET nach Anspruch 7 verwendet.

Der lokale Energieeintrag kann beispielsweise mit Hilfe eines Lasers erfolgen. Die zur Umwandlung verwendete Laserstrahlung kann in Wellenlänge und Intensität, bei Bedarf auch mit Hilfe einer zusätzlichen Fokussierungseinrichtung, so eingestellt werden, dass eine gezielte Umwandlung nur oberflächennaher Bereiche der Praseodymoxidschicht in eine Praseodymsilizidschicht erfolgt.

Weitere vorteilhafte Merkmale und Eigenschaften des erfindungsgemäßen Halbleiterkondensators sowie des erfindungsgemäßen MOSFETs und des erfindungsgemäßen Verfahrens werden nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Zuhilfenahme der beigefügten Zeichnungen erläutert.

Figur 1 zeigt ausschnittsweise ein erstes Ausführungsbeispiel für den erfindungsgemäßen Halbleiterkondensator.

Figur 2 zeigt schematisch einen erfindungsgemäßen MOSFET.

In Fig. 1 ist ausschnittsweise die Schichtfolge eines erfindungsgemäßen Halbleiterkondensators dargestellt. Der Halbleiterkondensator umfasst eine erste Kondensatorelektrode, die im vorliegenden Fall als Halbleiterbereich  
5 1 in einem Siliziumsubstrat ausgebildet ist, und eine Praseodymsilizidschicht 3 als zweite Kondensatorelektrode. Zwischen der ersten und der zweiten Kondensatorelektrode befindet sich eine Schicht 5 aus Praseodymoxid ( $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ) als Kondensatordielektrikum. Ein derartiger Halbleiterkondensator kann z.B. als Speicherkondensator eines dynamischen Direktzugriffsspeichers (DRAM, dynamic random access memory) oder als Gatekapazität in einem MOSFET dienen.  
10

Die Praseodymsilizidschicht 3 kann im Herstellungsprozess des Halbleiterkondensators beispielsweise durch Schichtabscheiden aus der Gasphase (CVD, chemical vapor deposition) auf das Praseodymoxid 5 des Kondensatordielektrikums hergestellt werden. In Abhängigkeit von den Abscheidebedingungen beim Erzeugen der Praseodymsilizidschicht 3 gibt es keine oder nur geringe Reaktionen zwischen dem Praseodymoxid und dem Praseodymsilizid, so dass keine oder nur eine sehr dünne Interfaceschicht entsteht. Eine Zwischenschicht zwischen dem Kondensatordielektrikum und der Kondensatorelektrode zum Unterdrücken chemischer Reaktionen ist  
15 daher entbehrlich.  
20

Die Praseodymsilizidschicht 3 auf der Praseodymoxidschicht 5 kann alternativ dadurch hergestellt werden, dass das Praseodymoxid durch lokalen Energieeintrag (z. B. mittels Bestrahlung durch Laserlicht) in den oberflächennahen Bereich der dem Substrat abgewandten Seite thermisch umgewandelt wird.  
25

Wenn der Halbleiterbereich 1 aus Silizium (Si) besteht, kann an der dem ersten Halbleiterbereich 1 zugewandten Grenzfläche des Gatedielektrikums 5 eine aus dem Herstellungsprozess herrührende Mischoxidschicht 7 der Form  $(\text{PrO}_2)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  vorhanden sein, wobei x Werte im Bereich größer null und kleiner eins annehmen kann. Zwischen dem Mischoxid 7 und dem Halbleiterbereich 1 kann deshalb eine dünne Oxynitridschicht 9 vorgesehen  
30

sein, die als Diffusionsbarriere für Sauerstoff dient und verhindert, dass Sauerstoff während Temperschritten, die auf das Abscheiden der Praseodymoxidschicht 5 auf den Halbleiterbereich 1 folgen, durch das Praseodymoxid 5 hindurch die Siliziumoberfläche des Halbleiterbereichs 1 erreicht und diese oxidiert. Die Oxynitridschicht 9 wird im Herstellungsprozess vor dem Abscheiden der Praseodymoxidschicht 5 geschaffen, ihr Vorhandensein ist für die vorliegende Erfindung nicht notwendig aber vorteilhaft.

Ein Ausführungsbeispiel für den erfindungsgemäßen MOSFET ist in Figur 2 dargestellt. Er umfasst ein n-dotiertes Siliziumsubstrat 10, in dem der Kanalbereich 11 des MOSFETs gebildet ist und das die erste Kondensatorelektrode darstellt. Im Halbleitersubstrat sind außerdem ein p-dotierter Sourcebereich 12 und ein p-dotierter Drainbereich 14 vorhanden. Über dem Kanalbereich 11 des MOSFETs befindet sich eine Gateelektrode 30, welche die zweite Kondensatorelektrode darstellt und durch ein praseodymoxidhaltiges Gatedielektrikum 50, welches das Kondensatordielektrikum darstellt, vom Substrat 10 getrennt ist. Die Gateelektrode 30 besteht vollständig aus Praseodymsilizid.

Statt einem Siliziumsubstrat kann der MOSFET auch ein Halbleitersubstrat aufweisen, das eine Siliziumgermaniumlegierung umfasst. Das Halbleitersubstrat kann aber alternativ auch vollständig aus der Siliziumgermaniumlegierung bestehen.

Zwar ist das Halbleitersubstrat 10 im vorliegenden Ausführungsbeispiel n-dotiert und ist der Drainbereich 14 sowie der Sourcebereich 12 jeweils p-dotiert, jedoch können die Dotierungen auch umgekehrt sein. In diesem Fall ist das Halbleitersubstrat 10 dann p-dotiert und ist der Drainbereich 14 sowie der Sourcebereich 12 jeweils n-dotiert.

Patentansprüche

1. Halbleiterkondensator mit einer ersten Kondensatorelektrode (1; 10), einer zweiten Kondensatorelektrode (3; 30) und einem zwischen den beiden Kondensatorelektroden (1, 3; 10, 30) angeordneten Kondensatordielektrikum (5; 50), das Praseodymoxid umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kondensatorelektrode (3; 30) zumindest im Grenzbereich zum Kondensatordielektrikum Praseodymsilizid enthält.
2. Halbleiterkondensator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kondensatorelektrode (3; 30) aus Praseodymsilizid besteht.
3. Halbleiterkondensator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kondensatorelektrode (1; 10) Silizium umfasst.
4. Halbleiterkondensator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Kondensatorelektrode (1; 10) eine Silizium-germaniumlegierung umfasst.
5. Halbleiterkondensator nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Kondensatordielektrikum und der ersten Kondensatorelektrode eine Mischoxidschicht (7) der Form  $(\text{PrO}_2)_x(\text{SiO}_2)_{1-x}$  vorhanden ist, wobei x Werte im Bereich größer null und kleiner eins annehmen kann.
6. Halbleiterkondensator nach Anspruch 5, bei dem zwischen der Mischoxidschicht und dem ersten Halbleiterbereich eine Oxynitridschicht (9) vorgesehen ist.
7. MOSFET mit einem Halbleitersubstrat (10), einem Gatedielektrikum (50), einer Gateelektrode (30) und einem Halbleiterkondensator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die erste Kondensatorelektrode vom Halbleitersubstrat (10), die zweite Kondensatorelektrode vom Halbleitersubstrat (10) getrennt ist.



satorelektrode von der Gateelektrode (30) und das Kondensatordielektrikum vom Gatedielektrikum (50) gebildet ist.

- 5 8. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterkondensators, der ein Praseodymoxid-haltiges Dielektrikum aufweist, gekennzeichnet durch einen Schritt des Erzeugens einer Praseodymsilizidschicht auf der Praseodymoxid-haltigen Schicht.
9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Praseodymsilizidschicht aus der Gasphase abgeschieden wird.
- 10 10. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem bei dem die Praseodymsilizidschicht mittels lokalem Energieeintrag in oberflächennahe Bereiche der Praseodymoxid-haltigen Schicht durch thermische Umwandlung von Praseodymoxid entsteht.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der lokale Energieeintrag mit Hilfe eines Lasers erfolgt.
- 15 12. Verfahren zur Herstellung einer Praseodymsilizidschicht auf einer Praseodymoxid-haltigen Schicht, bei dem die Praseodymsilizidschicht mittels lokalem Energieeintrag in oberflächennahe Bereiche der Praseodymoxid-haltigen Schicht durch thermische Umwandlung von Praseodymoxid entsteht.

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/006315 A2**(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Januar 2004 (15.01.2004)

PCT

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 21/28**,  
21/316(74) Anwalt: EISENFÜHR, SPEISER & PARTNER; Anna-  
Louisa-Karsch-Str. 2, 10178 Berlin (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/007179

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.(22) Internationales Anmeldedatum:  
4. Juli 2003 (04.07.2003)(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 30 674.5 4. Juli 2002 (04.07.2002) DE

## Erklärung gemäß Regel 4.17:

— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu  
beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die fol-  
genden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR)(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): IHP GMBH - INNOVATIONS FOR HIGH  
PERFORMANCE MICROELECTRONICS/INSTITUT FÜR INNOVATIVE MIKROELEKTRONIK  
[DE/DE]; Im Technologiepark 25, 15236 Frankfurt/Oder  
(DE).

## Veröffentlicht:

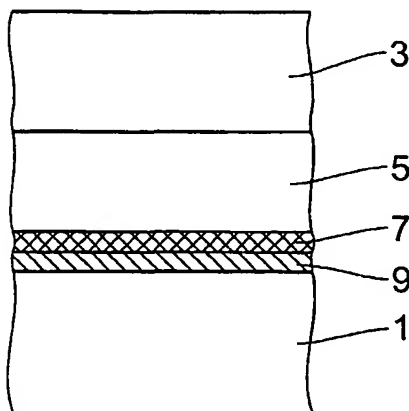
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MÜSSIG,  
Hans-Joachim [DE/DE]; Friedrich-Kind-Str. 11, 01259  
Dresden (DE).Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: SEMICONDUCTOR CAPACITOR AND MOSFET FITTED THEREWITH

(54) Bezeichnung: HALBLEITERKONDENSATOR UND DAMIT AUFGEBAUTER MOSFET

(57) **Abstract:** The inventive semiconductive capacitor comprises  
a first capacitor electrode (1), a second capacitor electrode (3) and  
a capacitor dielectric (5) which is arranged between the two capac-  
itor electrodes, comprising praseodymium oxide. The invention is  
characterized in that the second capacitor electrode (3) comprises  
praseodymium silicide.(57) **Zusammenfassung:** Erfindungsgemäss umfasst der Halbleiter-  
kondensator eine erste Kondensatorelektrode (1), eine zweite Kon-  
densatorelektrode (3) und ein zwischen den beiden Kondensatore-  
elektroden angeordnetes Kondensatordielektrikum (5), das Praseody-  
moxid umfasst. Er zeichnet sich dadurch aus, dass die zweite Kon-  
densatorelektrode (3) Praseodymsilizid umfasst.